

О. Ю. ЮРЧЕНКО

аспірант

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0002-3047-6654

В. І. СКЛАБІНСЬКИЙ

доктор технічних наук, професор

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0001-9388-5861

О. Г. ГУСАК

кандидат технічних наук, професор

Сумський державний університет

ORCID: 0000-0003-4372-5776

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКЕЛУ РОЗПИЛУ НА ВИХОДІ З КОРЗИНИ ОБЕРТОВОГО ВІБРАЦІЙНОГО ГРАНУЛЯТОРА

Обертання корзини вібраційного гранулятора мінеральних добрив веде за собою певні характерні особливості в проведенні експериментального дослідження. Це пов'язано, в першу чергу, з дослідженням внутрішньої гідродинаміки такої установки. Крім того, основний процес, що спостерігають, – факел розпилю речовини певного структурованого складу залежить від тих особливостей, дослідження впливу яких може бути проблематичним. У даній роботі представлено структуру експериментального стенду вібраційного обертового гранулятора та методологію проведення експерименту. Встановлено, що мінімально необхідний структурний набір елементів як в конструкції стенду, так і з точки зору інструментів дає можливість чіткого визначення залежності зміни факелу розпилю від частоти накладених вібрацій, кількості обертів корзини гранулятора та витрати рідини. Практична значимість приведеної методики проведення експерименту дає можливість отримання графіків залежності кожної зі змінних з метою аналізу закономірностей зміни стану продукту. Водночас, отримані результати можуть бути використаними для розрахунку нового грануляційного обладнання, а також при вивченні відповідних дисциплін. Зміна, наприклад, швидкості обертання корзини гранулятора несе за собою зміну факелу розпилю на її виході. Аналогічним чином, зміна частоти вібрації або рівня стовпа рідини несуть відповідний вплив. Особливо важливо це при визначенні розміру гранул при отриманні готового продукту. Тому, представлений в роботі стенд з набором відповідних функцій та структурних елементів при виконанні операцій гранулювання вимагає окремого етапу вивчення з метою отримання відповідних залежностей кінцевого продукту від перебігу основних процесів.

Ключові слова: гранулятор, стенд, експериментальне дослідження, методика, рівень стовпа рідини, частота вібрацій, швидкість обертання, гранули, корзина, витрата рідини, сигналізація.

O. YU. YURCHENKO

Postgraduate Student

Sumy State University

ORCID: 0000-0002-3047-6654

V. I. SKLABINSKYI

Doctor of Technical Sciences, Professor

Sumy State University

ORCID: 0000-0001-9388-5861

O. G. GUSAK

Candidate of Technical Sciences, Professor

Sumy State University

ORCID: 0000-0003-4372-5776

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL STUDY OF THE SPRAY TORCH AT THE EXIT OF THE BASKET OF A ROTARY VIBRATING GRANULATOR

The rotation of the basket of the vibrating granulator of mineral fertilizers entails certain characteristic features in the conduct of experimental research. This is primarily related to the study of the internal hydrodynamics of such an installation. In addition, the main process that is being observed – the torch atomization of a substance of a certain

structured composition depends on those features, the study of the impact of which can be problematic. This paper presents the structure of the experimental stand of the vibrating rotary granulator and the methodology of conducting the experiment. It was established that the minimally necessary structural set of elements, both in the design of the stand and from the point of view of the tools, makes it possible to clearly determine the dependence of the change of the spray torch on the frequency of the imposed vibrations, the number of revolutions of the granulator basket and the flow of liquid. The practical significance of the given method of conducting the experiment makes it possible to obtain graphs of the dependence of each of the variables in order to analyze the patterns of changes in the state of the product. At the same time, the obtained results can be used for the calculation of new granulation equipment, as well as in the study of relevant disciplines. A change, for example, in the speed of rotation of the granulator basket entails a change in the spray torch at its exit. Similarly, changes in the frequency of vibration or the level of the liquid column have a corresponding effect. This is especially important when determining the size of the granules when obtaining the finished product. Therefore, the stand presented in the work with a set of relevant functions and structural elements during the performance of granulation operations requires a separate stage of study in order to obtain the appropriate dependences of the final product on the course of the main processes.

Key words: granulator, stand, experimental study, technique, liquid column level, vibration frequency, rotation speed, granules, basket, liquid flow, signaling.

Постановка проблеми

При розрахунках та випробуваннях грануляційного обладнання важливе місце має правильний розподіл методів та засобів проведення експериментів. Для прикладу, розроблені в роботі [1] рекомендації щодо необхідності врахування перелічених факторів для гідродинамічних розрахунків процесів, які протікають як у кошику гранулятора, так і при руху гранул в робочому просторі грануляційної башти, використано з метою розробки методу розрахунку траєкторії руху гранул для використання в реальних промислових умовах із метою рівномірного розподілу гранул по перетину башти, чим буде забезпечено однакові умови контакту гранул з повітрям, що охолоджує гранули і впливає на якість гранульованого продукту.

Проведення будь-якого експериментального дослідження базується на певному теоретичному та практичному досвіді, набутому під час опрацювання певних джерел інформації. Якісно налаштований стенд є одним із ключових інструментів при проведенні експерименту. Говорячи про обертовий вібраційний гранулятор мінеральних добрив, слід указати, що дана конструкція установки не є новою. Цим характеризується стандартна обертова система, що підлягає накладенню вимушених коливань з одночасною можливістю регулювання витрати рідини, що вимірюється в м³/год, та регулювання частоти обертання корзини гранулятора. Водночас, доповнений експериментальний стенд має у своєму складі лопатеву систему.

В результаті, чіткий аналіз факелу розпилу на виході з корзини обертового вібраційного гранулятора є можливим за зняття замірів з одночасним регулюванням кількох параметрів, що і є змінними. До таких параметрів відносяться:

- частота вібрацій, Гц;
- кількість обертів корзини гранулятора, об/хв;
- витрата рідини м³/год.

Слід врахувати, що останнім характеризується такий показник, як рівень стовпа рідини в грануляторі, що підлягає регулюванню за допомогою напірного крану при подачі речовини до грануляційної башти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Великі оберти корзини є необхідною умовою для створення великого факелу розпилу плаву аби рівномірно розподілити краплі по усьому перетину башти. При цьому, великі оберти корзини призводять до збільшення відносних швидкостей у струменів плаву і повітря у башті, а це приведе до додаткового вторинного дроблення крапель. Крім того, відбудеться поява так званих «супутників» і погіршиться гранулометричний склад продукту. Згодом, можна вважати, що додатковий тиск в забезпеченні широкого факелу розпорошення плаву можливо створити при лопатевій системі [2].

Основою для високоякісної роботи ОВГ є процес розпорошення струменів плаву, що витікають із отворів кошику та поділяються на краплі. Обов'язковою умовою, при цьому, є наявність якомога ближчого до монодисперсного грануляційного складу. У подальшому такі краплі взаємодіють з холодним потоком повітря і це призводить до їхньої кристалізації, охолодження. На даному етапі велике значення має вірна організація гідродинаміки повітряного потоку, який впливає як на процеси теплообміну між гранулами та повітрям, так і на швидкість руху гранул та на напрямок цього руху [3]. В черговий раз підкреслено, що додатковий тиск в забезпеченні широкого факелу розпилу плаву створюють за допомогою лопатєвої системи у внутрішньому просторі корзини ОВГ [4].

В роботі [5] указано, що діаметр та розміщення отворів у корзині гранулятора із додатковим фактором, таким як швидкість обертання кошику гранулятора, впливають на діаметр факелу розпилу плаву. Підкреслено, що це є важливим тоді, коли башта матиме форму прямокутника і завширшки буде малою. Приведені деякі аспекти в роботі [6] теоретичних досліджень є основою подальших робіт по вдосконаленню методів з розрахунку діаметру

струменя рідини, а також зміни радіуса струменя уздовж його осі з виходом на створення методик з прогнозування форми струменю до його розпаду на краплі. Дослідження [7] містить розрахунки, що представляють актуальність при аналізі роботи вібраційних грануляторів для промислових масштабів з метою оцінки їх грануляційного складу продукту.

Взявши до уваги вище сказане, є підтвердження необхідності опису методики проведення експерименту при дослідженні факелу розпилу на виході з корзини гранулятора.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є опис експериментального стенду та набору необхідних пристроїв для вимірювання факелу розпилу в залежності від кількості обертів корзини гранулятора, частоти накладених вібрацій та витрати рідини.

Викладення основного матеріалу дослідження

Стандартно відома схема обертового вібраційного гранулятора мінеральних добрив, що представлення і джерелах літературного огляду, містить такі основні структурні елементи:

- вібраційний пристрій;
- підшипники;
- патрубок для входу плаву;
- корпус;
- перфоровану корзину;
- розподільник;
- додаткові лопатки.

Однак, з метою проведення саме вимірювань, а, отже, опису в даній роботі методики проведення експериментальних досліджень, доцільно показати загальну систему обертаючої установки та набору структурних елементів вимірювання та необхідного забезпечення (рис. 1).



Рис. 1. Схема експериментального дослідження: 1 – експериментальний стенд обертового вібраційного гранулятора; 2 – пост керування стендом; 3 – пост керування накладеною частотою вібрацій; 4 – мірна лінійка; 5 – стробоскоп

Пост керування експериментальним стендом включає в себе кнопкові пости, засоби сигнальної арматури (світлова сигналізація) та датчики. На рис. 2 представлено пост керування, де одразу позначено світлову сигналізацію про подачу електричної енергії до силового кола (позначення 1) та подачу електричної енергії до кола керування (позначення 2). При цьому слід зазначити, що вмикання і вимикання кола керування відбувається з одночасною сигналізацією. Аналогічним чином працюють позначені цифрами 3 та 4 кнопкові пости з відповідною світловою сигналізацією про вмикання та вимикання насоса для накачування рідини та електродвигуна приводу обертання корзини гранулятора. Цифрою 5 позначено пост регулювання швидкості обертання корзини гранулятора з відповідним відображенням дійсних показників на табло. Показник витрати рідини відображається на пості керування стендом під цифрою 6, а цифрою 7 позначено індикацію рівня стовпа рідини в грануляторі.



Рис. 2. Пост керування експериментальним стендом: 1 – світлова індикація про подачу напруги до силового кола; 2, 3, 4 – кнопкові пости зі світловою індикацією про вмикання/роботу/вимикання відповідно стенду, насосу, обертання корзини; 5 – регулювання обертів корзини; 6 – показник витрат рідини; 7 – рівень стовпа рідини

Як показано на рис. 1, основними об'єктами при виконанні експерименту є безпосередньо процес грануляції мінеральних добрив та паралельні заміри факелу розпилу. З метою регулювання швидкості обертання корзини гранулятора використано ручне керування на посту стенду (рис. 3, А). Регулювання частоти накладених вібрацій відбувається шляхом використання поста-випромінювача частот (рис. 3, Б).

Основна функція при виконанні експерименту полягає в знятті показників факелу розпилу з одночасними поступовими змінами в регулюванні частоти та швидкості обертання. Відповідним чином, останні дві змінні фіксуються як упродовж усього експерименту відповідним виконавцем, так і відображаються кожен на відповідному табло. Водночас, показник витрат рідини, що вимірюється в $\text{м}^3/\text{год}$, відображається на табло поста керування експериментальним стендом (рис. 4, А). Зміна даного показника призводить до зміни рівня стовпа рідини (рис. 4, Б). Внаслідок послідовного циклу експериментів є можливість вистроїти залежність факелу розпилу на виході з корзини гранулятора від указаних показників.



Рис. 3. Регулювання параметрів експериментальної установки: А – обертання корзини гранулятора, об/хв; Б – частота вібрацій, Гц



Рис. 4. Контрольовані параметри системи: А – витрата рідини $\text{м}^3/\text{год}$; Б – рівень стовпа рідини в грануляційній башті

Варто відмітити, що зі зміною хоча б однієї з указаних характеристик відбувається зміна довжини суцільного струменю на виході з корзини. Відповідним чином, методика проведення експерименту базується на послідовному повторі експерименту після дослідження факелу розпилу або з одночасним визначенням як факелу розпилу, так і довжини суцільного струменю.

Головним завданням в досліджуваній установці є отримання монодисперсних гранул. В такий спосіб завдання експериментального дослідження включає в себе третій (після факелу розпилу та довжини суцільного струменю)

експеримент по визначенню розміру гранули. Можливим є, як і в дослідженні довжини суцільного струменю, визначення одразу трьох даних показників при зміні кількості обертів, частоти вібрації і витрат речовини.

Визначення розміру гранули здійснюється за рахунок використання мірної лінійки, яка використовується з метою також визначення факелу розпилу, а також стробоскопу. За рахунок останнього є можливість наочної фіксації проходження струменю рідини на виході з корзини гранулятора і визначення розміру гранули з відповідною фотофіксацією. Подібний експеримент виконується при зміні вище перерахованих показників з метою отримання статистичних даних та побудування відповідних графіків залежності розміру гранули від, наприклад, частоти накладених вібрацій.



Рис. 5. Експериментальне визначення розміру гранул

Висновки

В роботі представлено методику проведення експериментального дослідження стенду гранулювання. Розглянуто структуру технологічної установки та відповідного забезпечення. Визначено послідовність проведення експериментального дослідження шляхом зміни трьох основних параметрів – швидкості обертання корзини гранулятора, частоти вібрацій та рівня стовпа рідини. Отримані залежності факелу розпилу, розміру гранули та довжини суцільного струменю слугуватимуть для будування відповідних діаграм як у двовимірному, так і в тривимірному просторі.

Список використаної літератури

1. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Вплив гідродинамічних та механічних чинників на формування гранул у грануляційній башті використанням обертового вібраційного гранулятора. *Праці ТДАТУ*, 2023. Вип. 23. Том 1. 2023. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-96-103
2. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Основні принципи корегування процесів у обертовому вібраційному грануляторі мінеральних добрив. *Modern Movement of Science: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Internet Conference*, October 19–20, 2023. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, 602–603 с.
3. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Моделювання дії гідродинамічних та механічних чинників на формування гранул у грануляційній башті обертового вібраційного гранулятора. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Запоріжжя, 01–24 листопада 2023 р. 16–18 с.
4. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Теоретичний аналіз дії механічних та гідродинамічних чинників на утворення крапель у вібраційному грануляторі. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали V Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Запоріжжя, 01–24 листопада 2023 р. 22–24 с.
5. Юрченко О.Ю., Склабінський В.І., Гусак О.Г. Вплив форми днища вібраційного гранулятора мінеральних добрив на основні параметрів технологічного процесу. *XXIII Міжнародна науково-технічна конференція АС ППГ «Промислова гідравліка і пневматика»*. Київ, 15–16 грудня 2022 р. : м-ли конф. «Глобус-Прес», 2023. – 164–166 с.
6. Юрченко О.Ю., Скиданенко М.С., Гусак О.Г., Склабінський В.І., Вплив гідродинаміки внутрішніх течій у корзині вібраційного гранулятора на струмені плаву. *IX Всеукраїнська науково-технічна конференція*. Суми, 19–22 квітня 2022 р. СумДУ. 2022. 170–171 с.
7. Yurchenko, O.Y., Ostroha, R.O., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G., Bocko, J. Formation of Liquid Droplets at the Prilling Bucket Outlet Under Free Oscillations of the Liquid Jet. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2023. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_18

References

1. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Influence of hydrodynamic and mechanical factors on the formation of granules in a granulation tower using a rotating vibrating granulator. *Proceedings of TDATU*, Vol. 23. Volume 1. 2023. DOI: 10.31388/2078-0877-2023-23-1-96-103
2. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). The main principles of adjusting processes in the rotating vibrating granulator of mineral fertilizers. *Modern Movement of Science: Proceedings of the 15th International Scientific and Practical Internet Conference*, October 19-20, 2023. FOP Marenichenko V.V., Dnipro, Ukraine, pp. 602–603.
3. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Modeling of the effect of hydrodynamic and mechanical factors on the formation of granules in the granulation tower of a rotating vibrating granulator. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the V International. science and practice Internet conferences* (Zaporizhia, November 1–24, 2023). pp. 16–18.
4. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). Theoretical analysis of the effect of mechanical and hydrodynamic factors on the formation of droplets in a vibrating granulator. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: materials of the V International. science and practice Internet conferences* (Zaporizhia, November 1–24, 2023). pp. 22–24.
5. Yurchenko, O.Y., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2023). The influence of the shape of the bottom of the vibrating granulator of mineral fertilizers on the main parameters of the technological process. *XXIII International scientific and technical conference of AS PGP "Industrial hydraulics and pneumatics"*. Kyiv, December 15–16, 2022: M-ly Conf. "Globus-Press". pp. 164–166.
6. Yurchenko, O.Y., Skydanenko M.S., Sklabinskyi, V.I., Gusak, O.G. (2022). The influence of the hydrodynamics of internal currents in the basket of a vibrating granulator on the water jet. *IX All-Ukrainian Scientific and Technical Conference*. Sumy (April, 19–22). Sumy State University. pp. 170–171.
7. Yurchenko, O., Ostroha, R., Sklabinskyi, V., Gusak, O., Bocko, J. (2023). Formation of Liquid Droplets at the Prilling Bucket Outlet Under Free Oscillations of the Liquid Jet. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Liaposhchenko, O., Machado, J., Edl, M. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32774-2_18